

La ingeniería biomédica en México

I. INTRODUCCION

CARLOS ALCOGER-CUARÓN *

Ha quedado definitivamente superada la época en la que el médico, valiéndose de sus manos, de sus órganos de los sentidos y de su cerebro, era capaz de resolver por sí solo toda la problemática de su quehacer profesional. En su auxilio han venido apareciendo todos los adelantos representados por la instrumentación biomédica.

En tal sentido, esa instrumentación, por compleja y deslumbrante que parezca, nunca dejará de tener la significación, a veces olvidada, de ser nada más que una prolongación de los sentidos, de las manos y del cerebro del médico que la usa.

Sin embargo, no es el médico quien pueda ni deba plantear y resolver los problemas que han

surgido con el nacimiento de los instrumentos. Cada nuevo adelanto en la tecnología de la instrumentación trae aparejados nuevos problemas; relativos a la invención y al perfeccionamiento del aparato, a su correcta utilización, así como para su mantenimiento y eventual reparación.

Otra importante transformación que hemos visto surgir en cuanto a la actividad del médico, es el cambio operado en su forma de trabajo, que de individual se ha trocado en una labor necesariamente de equipo.

Ahora bien, esta doble circunstancia: los adelantos en la tecnología de la instrumentación por un lado, y por el otro, la estructuración de los equipos humanos de salud, es probablemente lo que ha propiciado la aparición del ingeniero biomédico, como un elemento de ese equipo y como el factor que hace posible el empleo racional de los cada vez más costosos, complicados, pero a la vez indispensables instrumentos.

Estando fuera de toda duda la dependencia cada vez más estrecha de las tareas diagnósticas y de tratamiento con los dispositivos instrumentales correspondientes, resulta perfectamente explicable y

Presentado en sesión ordinaria de la Academia Nacional de Medicina, el 6 de mayo de 1981.

* Académico titular. Universidad Autónoma de Querétaro.

necesaria la inclusión del ingeniero biomédico dentro de los equipos de salud.

La captación, amplificación, registro y computarización de los fenómenos fisiológicos; la manipulación de órganos, tejidos y productos biológicos, por una parte, y la utilización atinada de los recursos terapéuticos, las sustituciones de órganos y la aplicación de prótesis, por la otra, hacen indispensable la organización de servicios y de procesos en los que se planteen y se puedan resolver los problemas de la instrumentación. Todo ello implica, desde luego, la necesidad de desarrollar labores de investigación, diseñar y construir prototipos, decidir acerca de adquisiciones; instalar y poner a funcionar los aparatos. A estas funciones se refiere la labor que un ingeniero biomédico deberá desempeñar dentro de un sistema de atención a la salud.

Considero, por tanto, que la Academia Nacional de Medicina ha tenido un acierto al incluir dentro de su programación este simposio, en el que destacados académicos, al lado de distinguidos invitados, disertarán sobre varios e importantes aspectos de la ingeniería biomédica.

El primer tema, comprende: 1) la mutua dependencia entre la investigación básica y la ingeniería, en el campo de la biomedicina y de la educación médica; 2) la importancia representada por el diseño, la construcción y el mantenimiento de los instrumentos científicos utilizados en la investigación y en la enseñanza biomédicas, a nivel básico; 3) la vinculación existente entre la ingeniería biomédica y la investigación básica en México, su estado actual, las perspectivas para su cabal integración y las limitaciones para lograrla.

Una problemática similar pero en relación a las instituciones dedicadas a la atención de la salud, será analizada desde el punto de vista de quien tiene la responsabilidad de la dirección de una de las instituciones que, por sus características, es una de las directamente relacionadas con los avances de la tecnología y que por lo mismo requiere del apoyo de la ingeniería biomédica.

En seguida se hará el planteamiento de los problemas, las realizaciones y las perspectivas de la ingeniería biomédica, de las funciones y antecedentes de esa profesión en México y en otros países, de nuestras carencias y de sus posibles soluciones.

Más adelante se presentará el punto de vista del sector público frente a las realidades planteadas. Se analizarán los proyectos, las realizaciones en marcha y las recomendaciones a otros sectores para buscar, en conjunto, la solución a los problemas nacionales, respecto a la formación de los recursos humanos, los programas de desarrollo, la creación de la infraestructura y la instrumentación de las políticas de investigación, de apoyo a la creación de nuevas industrias, de ayuda para el desarrollo tecnológico y otras. Fundamentalmente, el reconocimiento del valor de esta nueva carrera, dentro del Plan Global de Desarrollo.

Mención muy especial merece el tema de la preparación de los ingenieros biomédicos en las instituciones de enseñanza superior.

II. LA INGENIERIA Y LA INVESTIGACION BIOMEDICA

HUGO ARÉCHIGA *

“Ni las manos ni el intelecto por sí solos pueden hacer gran cosa. Es mediante instrumentos y ayudas como se realiza el trabajo. Ellos son tan necesarios para el intelecto como para la mano”. Así expresaba Francis Bacon,¹ hace más de tres siglos, la necesidad de contar con instrumentos, materiales o intelectuales, para efectuar el quehacer científico. Es el destino del hombre el existir en un universo demasiado complejo y variado para la capacidad de resolución de sus dispositivos sensoriales o la acción de sus órganos motores. Pero aspira a conocer ese universo, a comprender la condición humana y a modificar la naturaleza en su beneficio. Si nos nutren o nos destruyen partículas o seres tan diminutos que nos resultan imperceptibles, o radiaciones de remotos orígenes, a las que somos totalmente ciegos, es natural el afán por abrir para el intelecto y la acción los espacios de lo infinitesimal, de lo lejano y de lo muy complejo. Para ello, hacen falta instrumentos, a tal punto, que nuestra imagen del mundo y la de nosotros mismos, dependen cada vez más de la tecnología con que contamos. El avance de la medicina experimental, como el de otras ciencias, muestra el paralelismo entre la complejidad de los instrumentos disponibles y la profundidad del conoci-

* Académico numerario. Departamento de Fisiología y Biofísica. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados. Instituto Politécnico Nacional.

miento que se adquiere con ellos. De las agujas con que Leonardo da Vinci seguía los movimientos del corazón a los microelectrodos con que registramos el paso de la excitación entre células miocárdicas; de los escalpelos con que Galeno practicaba lesiones en el cerebro² a los registros unitarios múltiples de la actualidad, el espíritu científico ha cambiado poco; la tecnología es totalmente distinta. Cada avance tecnológico ha dejado su cuota en las ciencias médicas. La óptica, en el siglo XVII, permitió avizorar todo un mundo de animalculos y microestructuras que fueron el origen de conceptos fundamentales como la teoría celular y la doctrina microbiana de las enfermedades. Los modernos microscopios electrónicos nos permiten asomarnos a la dimensión molecular de la vida. La hidráulica nos ha dejado los conceptos de presión arterial, hemodinámica y en general de la circulación sanguínea, y así en tanto otros campos de la actividad médica, cada innovación tecnológica ha contribuido a enriquecer nuestro conocimiento sobre nosotros mismos. Las técnicas de registro mecánico pusieron al alcance del médico experimentalista el análisis de las diversas expresiones de la actividad motora del organismo, y en las últimas décadas ha ocurrido una verdadera revolución tecnológica, con el advenimiento de la instrumentación electrónica. Se ha hecho así posible el estudio de los fenómenos excitatorios que anteceden a cualquier movimiento, hasta tener registro de las funciones del sistema nervioso y por conversión, de cualquier actividad corporal. Un complemento esencial de este avance tecnológico ha sido la creación de sistemas de cómputo con los que se ha logrado expandir grandemente nuestra capacidad de análisis.

De nuevo, la relación con las ciencias médicas ha sido estrecha. Baste recordar que en el nacimiento mismo de la cibernética estuvo presente la interacción que culminó en México, entre su creador Norbert Wiener, un matemático³ y Arturo Rosenblueth, un fisiólogo. Tanto la medicina como la ingeniería llevarán para siempre la huella de esa interacción.

Relaciones entre la investigación y la ingeniería biomédica

La expansión de la electrónica y de la cibernética ha traído al mundo médico a un nuevo personaje: el ingeniero biomédico. Toca a otros participantes en este simposio presentar el perfil profesional, las aspiraciones y las realizaciones de estos colegas. Me limitaré a plantear cómo los vemos desde la perspectiva de la investigación biomédica y qué clase de relaciones quisiéramos establecer con ellos.

Diseño, construcción, mantenimiento y reparación de equipo

Es inherente a todo programa de investigación la posibilidad de rebasar la capacidad de operación

de los instrumentos disponibles. Cuando esto sucede, sólo se puede avanzar con nuevos aparatos. En ocasiones existen ya en el mercado, pero excepcionalmente reúnen las condiciones precisas para el fin al que se les destina. Además suelen ser de fabricación extranjera, con los problemas consiguientes de costo y de tiempo de entrega. El movimiento de la ciencia es muy ágil, la comunicación de ideas muy fluida y los descubrimientos simultáneos son un fenómeno cada vez más frecuente.⁴ Así, todo retardo en un programa de investigación tiene el riesgo inminente de la pérdida del reconocimiento de prioridades que es sin duda un incentivo poderoso de la investigación; pero sobre todo, el de llegar tarde a la solución de un problema. Si pretendemos tener en nuestro país una ciencia biomédica que compita con decoro en el ámbito internacional, deberemos crear una base firme de ingeniería biomédica. Por ahora, y por desgracia, casi todo está aún por hacerse.

Pero los aparatos útiles al investigador no son los únicos en cuyo diseño y construcción colabora este con el ingeniero. Los diseños hechos por la naturaleza y estudiados por el científico son fuente inagotable de ideas para la construcción de aparatos de uso práctico. Ya Leonardo da Vinci⁵ nos deja constancia de este anhelo al decirnos que "el genio del hombre... jamás descubrirá instrumento alguno más hermoso, más económico o más directo que lo natural, ya que en los inventos de la naturaleza nada falta, nada es superfluo". Una área de la medicina que ilustra particularmente bien la relación tan fructífera entre investigación e ingeniería, es la construcción de prótesis. En cada aparato protésico, sea para substituir una extremidad, una estructura deficiente⁶ o una función sensorial,⁷ debe expresarse la avanzada del conocimiento médico y del desarrollo tecnológico.

En general, entre el descubrimiento en ciencia básica y el usufructo social del conocimiento, media una etapa ingenieril, en la cual tiene ahora un lugar el ingeniero biomédico. Esta interacción tan estrecha entre investigación e ingeniería hace que no pocos investigadores devengan en ingenieros y que estos lleguen a crear conceptos científicos. Pero diseñar y construir un aparato sólo es parte de la tarea. Es preciso mantenerlo en operación. Diversas encuestas en nuestro país⁸ definen claramente que buena parte del equipo adquirido para investigación está en desuso, por fallas de diversa índole que en su conjunto acusan la falta de servicios adecuados de mantenimiento y reparación. Es este un campo donde la necesidad del concurso del ingeniero biomédico es ya apremiante.

Preparación de personal médico

La creación y operación de aparatos no es el único aspecto de la interacción del ingeniero con la investigación biomédica. Le ha sido dado al médico de nuestro tiempo el practicar su profesión en un ambiente rico en posibilidades de apoyo tecnológico, y debe conocerlas. La imagen misma que

se tiene del médico revela el impacto de la tecnología en su ejercicio profesional. De los modestos medios diagnósticos al alcance del médico medieval a los poderosos instrumentos modernos se aprecia claramente la contribución de la ingeniería a la práctica médica cotidiana. En diversas etapas formativas del personal médico, la instrumentación electrónica resulta indispensable y el adiestramiento es imperativo. La pesada tradición de verbalismo en nuestros sistemas educativos, a la vez que dificulta la tarea la hace más necesaria. Mientras más avezado esté el médico en el uso de equipo con el que se obtienen los datos de laboratorio o de gabinete, mejor podrá utilizarlos para fundar sus diagnósticos o ejercer su acción terapéutica. Esta Academia ha sido ya el foro de múltiples debates sobre lo necesario que es para la formación científica del médico, su adiestramiento en el método experimental mediante el uso de procedimientos y técnicas de laboratorio.⁹⁻¹¹

Si estos conceptos son válidos para el médico en general, mucho más aplicables resultan al especialista en la investigación biomédica. Por fortuna, en varias instituciones se están tomando medidas apropiadas, sea en cursos de pregrado o en los de postgrado, como el que se imparte para preparar fisiólogos en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, para incluir un fuerte componente de instrumentación, especialmente electrónica,¹² en cuya preparación participa el personal de bioingeniería. Igualmente, en esa misma institución se vienen ofreciendo anualmente cursos intensivos de un mes de duración para capacitar al personal de ciencias básicas de las distintas escuelas de medicina del país, en el uso de las técnicas electrofisiológicas modernas. En otros centros de trabajo se manifiestan iniciativas similares. Estas adiciones a las actividades docentes han marcado ya su huella en la planta física de los centros de investigación y docencia. Así, en el Departamento de Fisiología de la Facultad de Medicina de la UNAM, desde 1984 quedó incluido en el plano de construcción un taller para reparación de equipo,¹³ y desde hace más de treinta años, se construyeron ahí estimuladores eléctricos para enseñanza, sobre un diseño original del doctor Ramón Alvarez-Buylla, profesor de la asignatura en la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del IPN, antes de que estuviera ese equipo disponible en el mercado. Esperemos que en el futuro próximo estos talleres se multipliquen en nuestro país y toda institución biomédica cuente con uno, debidamente equipado y dirigido por un profesional competente.

Otro campo promisorio para el desempeño del ingeniero es el desarrollo de técnicas para la propagación de conocimientos. Hace treinta años la Facultad de Medicina de la UNAM fue el escenario de la primera aplicación hecha en el mundo, de la televisión a color para la enseñanza médica.¹⁴ Con equipo diseñado y construido en nuestro país por el ingeniero Guillermo González Camarena se transmitieron en circuito cerrado lecciones teórico-prácticas de Anatomía. Desde entonces ya se han realizado esfuerzos similares en diversas institucio-

nes. Desde luego ninguna forma indirecta de enseñanza logrará jamás substituir la relación personal entre maestro y alumno, pero en nuestros establecimientos de enseñanza médica, por lo general pleotóricos de alumnos y carentes de equipo especializado para la realización de experimentos en ciencias básicas, conviene que aun en forma de demostración el estudiante vea en actividad los procedimientos mediante los cuales se obtiene el conocimiento plasmado en sus libros de texto.

Naturaleza de la participación del ingeniero biomédico

De lo expuesto en párrafos anteriores resulta evidente la conveniencia de que en toda institución de investigación y de docencia en el área médica exista un servicio de ingeniería biomédica. Ello implica la necesidad de crear las estructuras físicas y administrativas apropiadas para que el ingeniero biomédico cumpla con eficacia su cometido. Su nivel profesional y su rango laboral deben ser análogos a los de los otros miembros del grupo académico de la institución; debe contar con el personal técnico de apoyo y con el presupuesto que la demanda del servicio requiera. Debe tener las mismas facilidades para superarse profesionalmente que las que se brinden al personal académico. En un campo de expansión tan rápida como la ingeniería biomédica, el profesional que no mantenga actualizada su información pronto quedará a la zaga, en detrimento suyo y del grupo en el que colabore.

Aun en las condiciones óptimas de organización institucional, la labor del ingeniero en nuestro medio tropieza con múltiples dificultades. Carecemos de componentes electrónicos y materiales de construcción de buena calidad y existen grandes dificultades para su importación; escasea el personal técnico de apoyo y la infraestructura para realizar el acabado de las piezas de equipo es deficiente. Por otra parte, el mercado interno está desorganizado, y la producción suele ser de ejemplares únicos, lo cual mantiene altos los costos. Todo ello dificulta la obra de construcción de equipo y la retarda y deteriora de tal manera que aun con las mejores intenciones, llega a hacerse necesario importar los aparatos que ya deberíamos estar construyendo en el país.

Si en la construcción de aparatos se tropieza con tan ingentes obstáculos, la instalación, el mantenimiento y la reparación no son más expeditos. Desde las deficiencias en el suministro eléctrico hasta los errores de operación por parte de personal poco calificado, hay una miríada de causas que se conjuran para acortar el lapso de utilización del equipo. Sólo excepcionalmente se cuenta con programas de mantenimiento de aparatos de nivel medio, y cuando llega el momento de tener que reparar alguna pieza, resulta que se carece de diagramas e instructivos, lo que aunado a las limitaciones ya citadas para la adquisición de partes de repuesto, dificulta y retarda la labor.

Estas son algunas de las limitaciones más impor-

tantes en el desempeño del ingeniero biomédico; son de todos conocidas y si se las menciona es sobre todo para subrayar la necesidad de que los cuerpos colegiados de la medicina mexicana, ahora que ya empezamos a contar con el personal especializado en ingeniería biomédica, contribuyan a generar iniciativas y acciones que resuelvan estos problemas. Es muy plausible la intención de esta Academia al traer la cuestión a su seno; esperemos que este sea sólo el primer paso en la estructuración de una estrategia de apoyo a esta actividad tan importante para el desarrollo de la medicina científica.

Pero quede claro que para el investigador médico, el disponer de una tecnología vigorosa no es un fin sino un medio. La meta es lograr mayor altura en nuestra producción científica, mejor calidad en la práctica médica, y para ello, el ingrediente esencial sigue siendo esa chispa creativa, ese aliento de innovación al que la tecnología debe servir, no avasallar. No queremos un médico desplazado por máquinas sino comandándolas racionalmente, tampoco limitado intelectualmente por el curso de acción que le impongan, sino usándolas para abrir nuevos cauces al pensamiento; recordemos con Wiener que "hay que dar a la máquina lo que es de la máquina y al hombre lo que es del hombre".¹⁵ La meta es clara; toca al investigador y al ingeniero, trabajando en conjunto, hacer el camino.

REFERENCIAS

1. Bacon, F.: *Novum organum*. 1er. libro, 2o. aforismo. Chicago, The University of Chicago Press. 1952.
2. Aréchiga, H.: *Galeno y los orígenes de la neurofisiología*. An. Soc. Mex. Hist. Ciencia y Tecnología. 2:35, 1970.
3. Wiener, N.: *Cybernetics*. The MIT Press, J. Wiley & Sons, Inc. New York, Longres, 2a. Edición, 1961.
4. Merton, R. K.: *La sociología de la ciencia*. Madrid, Alianza Editorial. 1973, vol. 2, p. 444.
5. Richter, I. A.: *Selections from the notebooks of Leonardo da Vinci*. Oxford, Oxford University Press. 1977, p. 103.
6. Murdoch, G. y Hughes, I.: *Clinical and biochemical aspects of current prosthetic practice*. En: *Perspectives in biomedical engineering*. Kenedi, R. M. (Ed.) University Park Press, 1973, p. 67.
7. Bach-y-Rita, P.: *Sensory plasticity*. Acta Neurol. Scand. 43:417, 1967.
8. Memorias de la reunión sobre *Instrumentación en ciencias fisiológicas*. Chihuahua, Sociedad Mexicana de Ciencias Fisiológicas. 1978.
9. Izquierdo, I. J.: *Desde un alto en el camino*. México, Ediciones Ciencia. 1966.
10. Alcocer Cuarón, C.: *Papel del laboratorio en la formación científica del médico*. GAC. MÉD. MÉX. 111:362, 1976.
11. Aréchiga, H.: *Los componentes científicos de la educación del médico*. GAC. MÉD. MÉX. 111:351, 1976.
12. Boletín Anual del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, IPN. 1975 a 1980.
13. Izquierdo, J. J.: *Balance cuatricentenario de la fisiología en México*. México, Ediciones Ciencia. 1934.
14. González Camarena, G.: *La enseñanza médica y la televisión a colores en la Escuela Nacional de Medicina*, UNAM. México, Editorial Técnica y Cultura de Radio y Televisión, 1953.
15. Wiener, N.: *God and Golem, Inc.* Cambridge, The MIT Press. 1964, p. 73.

III. LA INGENIERIA BIOMEDICA EN LAS INSTITUCIONES DE SALUD

JORGE SONÍ *

En México el estudio y empleo de equipos eléctricos y sus aplicaciones al diagnóstico y tratamiento fueron muy limitados hasta el fin de los años cincuenta. Anteriormente eran muy escasas las citas bibliográficas, aunque aparece una tesis excelente, escrita en 1899. Los equipos existentes se encontraban en muy pocos sitios y estos eran primordialmente los destinados a la investigación, como eran los grupos de Rosenblueth y de Méndez, contando con colaboradores como García Ramos y Alanís.

Estos distinguidos investigadores trabajaban con instrumentos difíciles de manejar y frágiles en su construcción. Tenían los investigadores, además, la doble carga de tener que dar mantenimiento ellos mismos a sus equipos. La mayor parte de estos eran construidos o adaptados por ellos mismos a las condiciones exigidas por el proceso en estudio.

En 1932 aparece en la GACETA MÉDICA DE MÉXICO un trabajo denominado *Utilización de la válvula electrónica de tres electrodos para la producción de efectos diatérmicos*, escrito por un alumno de quinto año de medicina, Teodoro Flores Covarrubias. El doctor Flores Covarrubias debe ser considerado, a mi juicio, como uno de los iniciadores de la ingeniería biomédica. Construyó, a petición del maestro Ignacio Chávez, un modelo de electrofonendoscopio para auscultación colectiva. Construyó un sistema de radioestereogrametría, con cuatro vectores. Es el primer médico en México que trabajó con radioisótopos. Construye un electroencefalógrafo de creación original.

En México ha existido inquietud por la ingeniería biomédica; pero su estudio y su importancia no se habían establecido firmemente. Al finalizar los años cincuenta, se inició el alud que ahora tenemos de equipos de la más diversa naturaleza y de complejidad creciente.

Hasta hace algunos años, siguiendo la tradición mexicana, algunos de nosotros que teníamos afición a la electrónica, nos encargábamos de operar y hasta de mantener los equipos. En la actualidad eso es imposible. La complejidad del instrumental y su cambio constante por la evolución de los componentes, hacen imposible que un médico pueda

* Académico numerario. Instituto Nacional de Cardiología "Ignacio Chávez".

dar servicio a sus instrumentos. La existencia del ingeniero biomédico es una necesidad ineludible.

Pero, ¿cuáles son los problemas que surgen al vernos expuestos a esta enorme variedad y volumen de equipo?

Primero, la educación del médico, quien tiene la obligación de poder informar al ingeniero biomédico de sus necesidades, adecuando sus peticiones al medio en que se desenvuelve. Debe conocer volúmenes de pacientes y facilidades de personal técnico para formular sus peticiones. Debe comprender que no es indispensable, ni a veces conveniente, que toda unidad de atención médica tenga todo el equipo posible.

Como ejemplo tomemos las máquinas de revelado automático. Si el volumen de placas a revelar es pequeño debe preferirse el revelado manual, que cuando es llevado al cabo correctamente, sus resultados son infinitamente superiores a los de las máquinas de revelado automático. Su desventaja es que el tiempo empleado es mucho mayor. De igual manera, en el revelado de películas de cine es antieconómico poseer una máquina propia si el volumen de trabajo es pequeño; resulta entonces más económico pedir el revelado a una casa comercial.

Pero si el volumen de placas es grande, sobre todo si se emplean seriógrafos de alta velocidad en los cuales de un solo estudio pueden resultar 60 o 70 placas, el revelador automático sí se vuelve indispensable, para lograr rapidez en el revelado y para poder observar el resultado y tener uniformidad en la calidad de revelado.

Al médico se le debe instruir para que sepa entender las especificaciones de los equipos y pueda decidir si son las que requiere para su trabajo. Debe conocer los conceptos de respuesta lineal, respuesta logarítmica, equilibrio de un amplificador, constante de tiempo, tierra y demás. Debe adiestrarse en el manejo y protección cuidadosa del equipo e indicársele las limitaciones de este. Debe instruírsele en las soluciones más simples, más económicas y menos expuestas a error. Debe entrenársele en el mantenimiento preventivo para que esté a su alcance.

El médico no debe pedir equipo que no pueda ser conservado en servicio constante por falta de ingenieros biomédicos. Esta es una fuente de capital mal empleado, muy frecuente en nuestras instituciones de salud.

El ingeniero biomédico debe colaborar con el ingeniero constructor de la unidad de atención médica para dictaminar los requerimientos básicos de las instalaciones eléctricas y sanitarias. Debe insistir en que las instalaciones tengan desde un principio los requerimientos indispensables de seguridad, o bien, modificar las existentes para que están cubiertos dichos requerimientos. Todas las tomas de corriente deben contar con conexión a tierra física y estar agrupadas y juntas idealmente. Los pisos de ciertas áreas deben tener los requerimientos debidos de conducción eléctrica. Debe prohibirse el uso de adaptadores y de extensiones. Debe instruírse al personal médico y de enfermería en la revisión de la conexión a tierra de los

equipos, tanto por medio de medidores de continuidad, como visualmente. Estas medidas son indispensables para la protección, tanto del paciente como del personal. Al personal médico y de enfermería debe instruírsele en los peligros potenciales del uso simultáneo de equipo científico y de aparatos de uso común, como son teléfono, radio o cama eléctrica.

El problema, en lo que atañe al ingeniero biomédico, es colaborar con el médico a elaborar equipos con el menor costo y adecuarlos al medio; comprender también que tiene que hablar el mismo lenguaje que el médico; entender que el médico no tiene entrenamiento extenso en física; prestarle su ayuda, elaborando equipos que puedan ser manejados sin necesidad de su presencia constante, para aliviar la tarea.

El tercer cometido es convencer a los directivos de hospitales y a las más altas autoridades del Sector Salud de la importancia de la ingeniería biomédica.

Este es un problema que ya está sobre nosotros. Existe una inversión enorme en equipos científicos y esta tiende a crecer cada día en forma inexorable. Es indispensable contar con personas entrenadas en esta disciplina para que nos ayuden en la selección de equipo; que nos asesoren en su manejo; que se responsabilicen de su mantenimiento y, finalmente, desarrollen equipo según nuestras necesidades.

El ingeniero biomédico es una persona tan necesaria y tan indispensable en las instituciones de salud como lo es un médico. En los hospitales debe crearse en la plantilla de personal, la plaza de ingeniero biomédico.

Cuanto más compleja sea la medicina y cuanto más rigor científico se le exija, tanto más equipo científico va a requerir y tanto más y mejores expertos médicos e ingenieros se requerirán.

IV. REALIZACIONES Y PERSPECTIVAS DE LA INGENIERIA BIOMEDICA

MIGUEL LINDIG *

Sería pretencioso hacer un análisis detallado de la contribución de la ingeniería a la medicina en México. La mención de algunas de estas aportaciones estaría basada en un juicio personal de su importancia relativa, en detrimento de otras que pudiendo ser más meritorias desde otros puntos de vista, no se presentarían por falta de tiempo.

Me limitaré a describir algunos hechos de la ingeniería aplicada a la medicina que poseen tras-

* Instituto Politécnico Nacional.

endencia para el Sector Salud en su conjunto, o partes significativas del mismo.

Quisiera vincular el inicio de la ingeniería biomédica en México a la creación, en 1966, de la entonces Central de Conservación de Equipos Médicos del Instituto Mexicano del Seguro Social. Si bien la conservación, instalación, enseñanza de manejo y asesoría de uso de equipo médico constituye solamente una parte de los objetivos de la ingeniería biomédica, la creación de esa central, ahora departamento, marca el inicio de una visión institucional, a nivel nacional, de uno de los problemas tecnológicos fundamentales del Sector Salud.

El departamento mencionado inicia, entre otras actividades, el primer programa masivo de formación de recursos humanos a nivel técnico en la conservación de equipo médico. Como resultado de ciertas deficiencias en el funcionamiento del equipo, atribuibles a causas particulares de nuestro medio, a las que me habré de referir más adelante, sugiere modificaciones a fabricantes, particularmente nacionales. Puede decirse con justicia que un alto porcentaje de las iniciativas de fabricación nacional de equipo médico nacen como resultado de las inquietudes que en ese sentido surgen, y son, propiciadas por este departamento.

En forma prácticamente paralela a la creación de programas educativos al nivel de licenciatura, nace la idea de la creación de una Sociedad Mexicana de Ingeniería Biomédica. La necesidad de promover, coordinar y difundir la investigación en ese campo se vislumbra por primera vez en el ámbito universitario. Su orientación, en consecuencia, ha sido eminentemente académica y su vinculación con los problemas tecnológicos de la práctica cotidiana del Sector Salud sigue siendo una preocupación permanente de quienes integramos la Sociedad.

A raíz de una propuesta del Programa Nacional Indicativo de Salud, a cuyo apoyo y entusiasmo ante las actividades de la Sociedad y a la ingeniería biomédica en México quisiera rendir un público reconocimiento, se realizan dos seminarios de investigación en este campo, en forma conjunta con los dos primeros congresos de la Sociedad. Muchas de las conclusiones de estos seminarios están implícitas en las presentaciones previas a esta, por lo que a continuación expondré sólo algunas relacionadas con las perspectivas de la ingeniería biomédica en México.

1. En general, el público desconoce las habilidades y conocimientos del ingeniero biomédico y no lo ubica con precisión en los cuadros profesionales tradicionales.
2. Las funciones del ingeniero biomédico dentro del equipo de salud son:
 - a) Investigación en las áreas de ecología, demografía, y de los sistemas de salud.
 - b) Asesoría en adquisición, control de calidad, instalación, manejo y uso de equipos y sistemas biomédicos.
 - c) Conservación de equipo en todos sus aspectos, particularmente el preventivo.

d) Investigación en nuevos medios y métodos de diagnóstico y terapia de padecimientos desde el punto de vista tecnológico.

Conforme la Sociedad fue madurando y retroalimentando experiencias, el énfasis del quehacer del ingeniero biomédico se fue centrando más en la idea de incrementar la efectividad del equipo e instalaciones utilizadas por el Sector Salud. En 1977 se instala el primer servicio de ingeniería biomédica en el Centro Hospitalario "20 de Noviembre" del ISSSTE, con objeto de "complementar las actividades de los servicios de conservación".

Actualmente existe un proyecto para ampliar estos servicios a todos los hospitales del ISSSTE del área metropolitana.

Hasta la fecha, la Sociedad Mexicana de Ingeniería Biomédica ha efectuado tres Congresos Nacionales. Conviene hacer énfasis en el incremento de trabajos presentados y, particularmente, en el crecimiento del porcentaje de trabajos relacionados con instrumentación médica (cuadro I). También conviene mencionar el hecho de que las instituciones de educación superior mantienen una participación uniforme, mientras la cantidad de exposiciones de investigadores de centros de salud va en aumento. Cabe resumir las realizaciones de la ingeniería biomédica en México en la siguiente forma:

1. Existe ya una idea razonablemente definida de lo que es el ingeniero biomédico, de cuál es su quehacer como miembro del equipo de salud a nivel asistencial y de cuál en su papel como miembro de un equipo de investigación interdisciplinario en el Sector Salud.
2. Existen núcleos de investigadores en diversas instituciones de educación superior, que representan un potencial de investigación importante y en crecimiento en las áreas de tecnología, matemáticas y sistemas aplicados a la medicina.
3. Un número creciente de profesionales encuentra ubicación en las instituciones de salud precisamente como ingenieros biomédicos; lo que refleja la aceptación creciente de su quehacer y tal vez más importante, de su necesidad como miembros del equipo de salud.
4. Hay un consenso cada vez mayor en relación a la necesidad de crear tecnología nacional en el Sector Salud, basado en argumentos que se expondrán más adelante, y
5. Se ha iniciado la formación de una conciencia de grupo en un porcentaje importante de los profesionistas activos en el campo, mismo que se manifiesta como una inquietud colectiva por ya no sólo imitar, sino desarrollar, adecuar y producir tecnología mexicana para las necesidades del Sistema de Salud.

Cuadro 1. Congresos nacionales de ingeniería biomédica.

Congresos	Campos de actividad, procedencia, número de trabajos, porcentajes.					
	I		II		III	
Total de trabajos	Número	Por ciento	Número	Por ciento	Número	Por ciento
<i>Matemáticas aplicadas a la medicina y a la biología</i>	33		35		43	
	17	51.5	15	43.0	17	39.5
IPN	5	29.0	—	—	1	6.0
SSA	4	23.5	6	40.0	8	47.0
UAM-I	4	23.5	6	40.0	2	11.7
UNAM	3	18.0	1	6.7	2	11.7
UIA	1	6.0	—	—	2	11.7
ISSSTE	—	—	1	6.7	2	11.7
<i>Instrumentación médica y biológica</i>	16	48.5	20	57.0	26	61.5
IPN	3	19.0	—	—	6	23.0
UAM-X	3	19.0	—	—	—	—
IMSS	2	12.5	—	—	5	19.2
ISSSTE	2	12.5	—	—	3	11.5
UAM-I	2	12.5	10	50.0	5	19.2
SSA	1	6.0	2	10.0	—	—
EXT.	1	6.0	1	5.0	—	—
UAM-A	—	—	2	10.0	—	—
H.E.	—	—	1	5.0	2	8.0
I.P.	—	—	—	—	1	4.0

UAM-I: Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa.

UAM-X: Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco.

UAM-A: Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Atcapotzalco.

IP: Iniciativa privada.

Las perspectivas de la ingeniería biomédica en México serían ciertamente importantes, pero muy limitadas, si se contemplaran únicamente como consolidación de las realizaciones antes expuestas.

Toda especialidad ingenieril depende, para su crecimiento, del sector industrial, tanto como consumidor de recursos humanos como para definir metas y prioridades de investigación, especialmente de tipo tecnológico. Actualmente se construyen en México esterilizadores de vapor y aire caliente, hornos de cultivo, lámparas de quirófano así como algunos consumibles médicos, bajo licencias y marcas extranjeras. Algunas áreas de equipo médico cuentan con altos niveles de integración nacional, tales como incubadoras, sistemas de rayos X y equipo de anestesia. Existen algunos intentos, a nivel de pequeña industria, en el campo de equipo de laboratorio y electrocardiografía, que operan con tecnología totalmente mexicana. En re-

sumen; la industria existente es apenas incipiente y, salvo pocas excepciones, se limita a reproducir tecnología de origen extranjero. Los inconvenientes de esta situación están señalados en el documento que dio origen al Comité Tecnológico del Programa Nacional Indicativo de Salud:

1. Es conocido que la política de compra directa de tecnología, así como la de sustitución de importaciones cuesta al país erogaciones por concepto de utilidad al capital, regalías por uso de patentes y marcas, sueldos y remuneraciones al personal directivo y al especializado que llega al país junto con la tecnología, así como el costo de los bienes de capital que, en general, también se adquieren en el extranjero.
2. Es un hecho conocido que la tecnología así adquirida no siempre obedece a las necesidades del país comprador; en el mejor de los casos, se realiza una adaptación condicionada a la oferta del país vendedor.
3. Por otra parte, casi nunca se aprovecha la infraestructura y la planta industrial existente en el país comprador, sino se recurre a erigir nuevas instalaciones con el modo de producción del país vendedor.
4. Las situaciones antes citadas condicionan y

restringen el campo de la investigación científica y tecnológica del país comprador a los paquetes de conocimientos y habilidades que no siempre está preparado a recibir, por falta de controles de calidad, de seguridad y de aplicación.

En conclusión, la política de compra directa y de sustitución de importaciones no ha mostrado ser útil para promover el desarrollo tecnológico del país.

Desde el punto de vista de las perspectivas de la ingeniería biomédica, la dependencia tecnológica del extranjero por parte de las empresas fabricantes en México significa simplemente la negación de posibilidades de investigación aplicada más allá de la solución de problemas particulares y de la generación de curiosidades académicas. En otras palabras, sin una salida industrial a la inventiva y capacidad creadora del ingeniero, este pierde en gran medida su justificación social como agente de cambio.

Parece evidente pues que tanto el Sector Salud, como la profesión de la ingeniería biomédica, coinciden en la necesidad de un desarrollo tecnológico propio, orientado hacia una fabricación nacional de, si no todos, sí de aquellos equipos, insumos y sistemas aplicados a la medicina que económicamente sea factible y justificable.

En los seminarios de investigación en ingeniería biomédica se inició el estudio de la situación que guarda la industria nacional de equipo médico. Estos trabajos, así como otros presentados en congresos, apuntan a una serie de carencias que explican la poca participación de tecnología y fabricación nacionales y que, por su trascendencia para las perspectivas de la ingeniería biomédica, quisiera resumir a continuación:

1. Carencia de un programa de prioridades a nivel nacional que oriente la investigación tecnológica en función a necesidades reales del Sector Salud. La ausencia de directrices generadas por la medicina misma propicia, no la libertad, pero sí el libertinaje en la investigación, al permitir la emulación de cualquier línea de investigación seguida en el extranjero y no propiciar la vinculación con problemas nacionales de Salud Pública.
2. Carencia de unicidad de criterios que garantice, con base en el cumplimiento de especificaciones técnicas y requisitos de diseño, pruebas de funcionamiento y capacidad de conservación, que un producto determinado sea aceptado en el mercado. El mercado interno de prácticamente cualquier equipo de cierto nivel tecnológico es comparativamente pequeño. Esto es, una fabricación nacional que no pretenda abarcar una fracción significativa de ese mercado no es económicamente atractiva. Así, la carencia de unicidad de criterios impide atraer capital a esa potencial industria.
3. No existe institución alguna que pueda

certificar, con validez oficial y a nivel nacional, que determinado producto cumple con las especificaciones y características que fueron la base de su desarrollo. Lo anterior propicia la desconfianza del Sector Salud en cualquier desarrollo tecnológico nacional y favorece la penetración de tecnología extranjera que, en sus países de origen, sí cuenta con esos mecanismos de evaluación y certificación.

No existe una infraestructura tecnológica industrial en lo que se refiere a insumos y procesos tecnológicos, particularmente en el área de accesorios y acabados, que permita ofrecer un producto cualitativamente competitivo con el importado a precios razonables.

Lo anterior requiere de alguna explicación. Si consideramos cualquier equipo electromédico, un monitor cardíaco, por ejemplo, y analizamos los materiales —no las componentes electrónicas— y acabados involucrados en su fabricación, podemos hacer una lista en la que figurarán, entre otras cosas, las siguientes:

1. Carátula
2. Gabinete
3. Perillas diversas
4. Cable de paciente
5. Otros

Un acabado competitivo implica una carátula fotoanalizada, tal vez un gabinete de plástico inyectado, alguna moldura de aluminio inyectado, perillas anodizadas, cable especial —blindado y flexible— con conector inyectado. La inversión en maquinaria y equipo para los procesos anteriores es simplemente prohibitiva para una pequeña empresa que produce, digamos, 500 monitores por año. Pero esta empresa no puede recurrir a la maquila de estos procesos, a una integración horizontal, por falta de lo que llamo infraestructura tecnológica. Los resultados de lo anterior, se traducen a un rechazo de lo "Hecho en México".

5. La creación de cualquier nueva empresa implica una tarea burocrática no sólo grande sino cercana a lo cómico, por la poca claridad de los requisitos, registros necesarios, permisos y autorizaciones. Cualquier producto nuevo debe ajustarse a una norma, aunque esta no exista. Debe satisfacer requisitos, aunque no haya quien los verifique, y poseer registros, aunque no es posible averiguar quien los efectúa. Cuando, después de meses de averiguaciones complejas, se tiene el camino definido para poder lanzar un producto al mercado, puede tenerse la certeza de que, mientras, apareció un requisito nuevo cuya no observancia origina, por lo menos, multas. No existe una asesoría administrativo-legal única que pueda apoyar la creación de nuevas industrias o la generación de nuevos productos.

Puede decirse que el análisis de esta problemática y la conciencia de la existencia de la misma, tanto entre los profesionales de la ingeniería biomédica como en el Programa Nacional Indicativo de Salud, constituye una de las realizaciones importantes de la ingeniería biomédica mexicana.

Como resultado de este análisis, y con el decidido apoyo de PRONALSA, se ha propuesto al CONACyT la creación de un Centro de Desarrollo de Tecnología y Equipo Biomédico, proyecto que actualmente se encuentra en un proceso de evaluación. En caso de que este proyecto fuera apoyado, se realizaría en el Instituto Politécnico Nacional y tendría los siguientes objetivos:

1. Diseñar, desarrollar y construir prototipos de laboratorio de aquellos equipos, sistemas o instrumentos biomédicos caracterizados como prioritarios por el Sector Salud.
2. Instrumentar aquellos procesos de fabricación que, siendo necesarios para una buena calidad del producto, no están al alcance, por razones técnicas o económicas, de pequeñas industrias, que pretenden servir al Sector Salud.
3. Desarrollar, en estrecha combinación con la empresa-objetivo, toda la ingeniería industrial y de procesos necesaria para, partiendo de un prototipo de laboratorio, generar una línea de producción confiable y rentable.
4. Brindar los servicios de laboratorio, control de calidad, cómputo, y en general, todo el apoyo técnico requerido por una pequeña empresa para poder ofrecer un producto competitivo, que excedan las posibilidades técnicas o económicas de la misma.
5. Brindar asesoría administrativa, contable, económica y legal que permita el establecimiento de nuevas empresas en condiciones óptimas de rentabilidad a corto plazo.
6. Establecer vínculos entre estas empresas y las dependencias gubernamentales involucradas en el Sector Salud.
7. Apoyar la comercialización de tecnología mexicana.

Con este centro se pretende, pues, atacar la parte tecnológica de la problemática antes expuesta. Sin embargo, la tecnología tal vez no sea el problema más importante. No se puede hacer suficiente énfasis en el hecho de que la ingeniería es una actividad de servicio, esto es, no genera sus propios problemas, sino resuelve una necesidad social con base en resultados de las ciencias exactas. Así, las perspectivas de la ingeniería biomédica dependen de la aceptación, por parte del médico, que otros profesionales comparten su inquietud por el bienestar del ser humano. Dependen del apoyo que el Sector Salud pueda brindar en materia de prioridades y unicidad de criterios en lo que a tecnología aplicada a la medicina se refiere. Depende, en resumen, de la voluntad nacional por buscar la independencia tecnológica en el Sector Salud. Como ingenieros biomédicos, nuestro propósito es servir.

V. LA INGENIERIA BIOMEDICA Y EL SECTOR PUBLICO

FEDERICO CHÁVEZ-PEÓN * y
JAVIER RAMÍREZ-ACOSTA *

En el Plan Global de Desarrollo 1980-1982, el Gobierno de la República ha diseñado una estrategia orientada a aumentar en forma permanente las fuentes de empleo productivo para la población mexicana y lograr que las mayorías accedan a los mínimos de bienestar en alimentación, salud, seguridad social, educación y vivienda como medio indispensable para alcanzar una más justa distribución del ingreso, al través del cual se pretende llegar al estado de bienestar físico, mental y social que todos anhelamos.

Dentro del marco del Plan Global de Desarrollo, el Sector Salud tiene objetivos que en forma directa e indirecta inciden en forma importante en la consecución de los propósitos de la actual administración, como es extender la cobertura de los servicios de salud a todos los grupos rurales y urbanos no atendidos o subatendidos, al través de los programas de cooperación rural y de atención a los marginados urbanos, a fin de que al terminar el presente sexenio ciento por ciento de la población mexicana tenga posibilidad acceso a los servicios de salud. En forma paralela se persigue mejorar la calidad de la atención a la salud y a la enfermedad que se proporciona actualmente.

Para alcanzar estos objetivos, el Sector Salud ha basado su estrategia en dos tipos de acciones fundamentales que se complementan entre sí. La primera es mejorar la organización actual de los servicios de salud, buscando hacerlos más eficaces, más eficientes y más congruentes. La segunda radica en la búsqueda de nuevas tecnologías, tanto de procesos como de objetos que persigan, no solamente una transformación en la manera de otorgar los servicios de salud, sino que promuevan una revisión a fondo de su calidad, de la aceptabilidad que tienen en la población, de lo adecuado que son a las necesidades reales del país y de su costo. Lo que debe de conducir, sin duda, a cambios profundos en la organización y en las políticas económicas y sociales en las que se sustentan los servicios, a fin de que el proceso de salud se establezca como un elemento más del desarrollo y se reconozca su función como parte y objetivo del mismo.

Para hacer posible que tanto los objetivos de desarrollo general del país como los del Sector Salud se logren, el sector público está llevando al cabo una serie de actividades con las que se pretende que ambos planes converjan, se complementen y se apoyen entre sí.

* Secretaría de Salubridad y Asistencia.

Dado que este simposio tiene como ámbito la ingeniería biomédica y el sector público, solamente se hará referencia a un solo grupo de actividades con las que el sector público pretende modificar la situación actual del gasto en insumos de las instituciones del Sector Salud, con los siguientes propósitos:

1. Disminuir costos, racionalizando el gasto.
2. Utilizar los recursos que se generen para contribuir a extender la cobertura y para mejorar la calidad de la atención a la salud y a la enfermedad.
3. Propiciar el desarrollo de la industria nacional y contribuir a la creación de fuentes de empleo.
4. Propiciar a futuro la autodeterminación tecnológica.

Para dar ejemplo concreto de cómo se está logrando lo anterior, me referiré a lo que ha sucedido con los medicamentos. El contar con un cuadro básico para todo el Sector Salud permitió llevar al cabo una serie de acciones con el objeto de racionalizar las adquisiciones de medicamentos. Se creó la Comisión Intersecretarial para el desarrollo de la Industria Farmacéutica, en la cual están representadas las secretarías de Comercio, de Patrimonio y Fomento Industrial y la Secretaría de Salubridad y Asistencia, así como las instituciones del Sector Salud (IMSS, ISSSTE, DIF) y la Cámara Nacional de la Industria Farmacéutica. Esta comisión, por medio de concursos de calidad y costo y compras consolidadas para todas las instituciones de salud, logró un ahorro de 125 millones de pesos en la compra de los medicamentos para los primeros seis meses de 1981. Es importante mencionar que 70 por ciento de las adquisiciones se hizo a laboratorios de capital mayoritario nacional. Es claro que además del ahorro logrado, esta política tiende a fortalecer a la industria nacional, con lo que se pretende que en el futuro el país cuente con una industria farmacéutica pujante, que haga sus propias investigaciones y desarrollos.

Acciones similares se llevarán al cabo en otros grupos de insumos que adquiere el Sector Salud, como son materiales de curación, equipos médicos, materiales e instrumental odontológico, instrumental quirúrgico y material y equipo de laboratorio.

En cada uno de estos grupos, la posibilidad de aprovisionamiento por la industria nacional es diferente. Del material de curación, cerca de 80 por ciento de las adquisiciones ya se hace a la industria nacional, aun cuando un alto porcentaje de la tecnología que esta emplea proceda del extranjero.

En cuanto a los equipos médicos, la situación es preocupante. En un estudio elaborado por Nacional Financiera, presentado en el Primer Seminario de Ingeniería Biomédica, se encontró que en el país existe una cuantiosa inversión en equipo médico, el cual casi en su totalidad procede del extranjero. Su aprovechamiento es sumamente deficiente, debido a descomposturas frecuentes por es-

casa o nula asistencia técnica al personal encargado de emplearlo, así como a una notoria deficiencia tanto en la calidad como en la cantidad de personal técnico calificado para la enseñanza, el manejo, la instalación y la conservación. Además se encontró que en la mayoría de las ocasiones, el equipo no era el más adecuado para llenar las funciones para lo que fue adquirido.

Lo más grave para el país fue la ausencia casi total de grupos de investigación y de desarrollo tecnológico en esta área y la nula colaboración entre instituciones del campo de la ingeniería y las dedicadas a la investigación biomédica o a la asistencia, lo cual hace que nuestros servicios de salud y nuestra investigación biomédica sean totalmente dependientes de instrumentos y de equipos extranjeros.

La industria nacional no contribuye prácticamente en nada en áreas como equipo médico, material e instrumental odontológico, y equipo de laboratorio a pesar de que existe un mercado en expansión. Tan solo en equipo eléctrico y electrónico, el valor del mercado nacional se estima en 1 000 millones de pesos anuales, con un crecimiento de 11 por ciento por año.

¿Qué está haciendo el sector público para modificar la situación actual? La Comisión Intersecretarial, al fomentar las adquisiciones a la industria nacional, está propiciando la posibilidad de que esta última se involucre en tales actividades. Sin embargo, en un sistema económico de tipo mixto como es el de nuestro país, el Estado tiene la facultad de desarrollar las industrias necesarias en áreas en las que, por razones diferentes a las de las conveniencias económicas, se considere útil impulsar cierto tipo de actividades en búsqueda del bien general. Tal es el caso de algunos de los insumos del sistema de salud. Baste decir que actualmente toda la producción de las vacunas que se utilizan en el país se hace en industrias del Estado. Lo mismo podría suceder en otras áreas en las que la industria privada no se ha interesado, o en aquellas en las que se consideren vitales para el desarrollo de los servicios de salud del país.

El principal cuello de botella que existe es la falta de los recursos humanos necesarios para desarrollar las nuevas tecnologías que el país requiere. Faltan los recursos humanos que mediante la actividad diaria en las instituciones de salud detecten los problemas. Faltan los recursos humanos que en las instituciones académicas desarrollen las investigaciones tecnológicas, produzcan los prototipos de laboratorios y prueben su eficiencia, y faltan recursos humanos para la industria, los que hagan que cada prototipo de laboratorio sea llevado al nivel de producción masiva y que pueda llegar a todo el Sector Salud para su utilización.

Dentro de estos recursos humanos están los ingenieros biomédicos, profesionales que serán fundamentales para el buen éxito de los programas del sector público.

El Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, como dependencia del sector público encargada de propiciar la formación de los recursos humanos que requiere el país para el desarrollo científico

y tecnológico, está llevando al cabo un programa de desarrollo de la ingeniería biomédica con el objetivo fundamental de que el sistema de salud, y el industrial puedan contar con los suficientes recursos humanos que permitan a corto plazo la utilización más adecuada de los equipos e instrumentos de que dispone el Sector Salud, y a largo plazo la posibilidad de lograr la autodeterminación tecnológica.

El Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología ha propiciado, al través del otorgamiento de becas, la formación de los recursos humanos para la investigación, la docencia y la asistencia en las áreas que las instituciones académicas y asistenciales han solicitado. Ha propiciado la formación de la infraestructura material para la investigación y el desarrollo tecnológico, al través del apoyo económico para la adquisición de talleres y de otras facilidades; ha apoyado a programas y proyectos específicos de desarrollo tecnológico.

Recientemente se ha aprobado otorgar apoyo a la creación de un centro de desarrollo tecnológico para el área de la salud, cuyas funciones fundamentales serán sustentar con talleres, materiales y expertos en diversas ramas de la ingeniería, a los avances que se generen en las instituciones de salud, propiciar el desarrollo de prototipos para la investigación y para la asistencia y servir de vínculos con la industria establecida, así como de apoyo para la creación y fortalecimiento de nuevas industrias.

Por todo lo anterior se debe propiciar la incorporación de los ingenieros biomédicos a las instituciones prestadoras de servicios de salud. Hasta la fecha ya son varias las instituciones que cuentan entre su personal de base a ingenieros biomédicos. En algunas de ellas los ingenieros biomédicos ya han desarrollado nuevas tecnologías que se encuentran en el proceso de producción industrial.

Por otro lado el CONACyT tiene programas de apoyo para que el sector industrial se involucre en el desarrollo tecnológico.

En su Programa de Riesgo Compartido, el CONACyT apoya hasta con 50 por ciento de los gastos a aquellas empresas que necesiten contratar los servicios de un centro de investigación para proyectos de innovación, adaptación o desarrollo tecnológico de procesos, o de nuevos productos con una razonable posibilidad de éxito en el mercado. Tiene además estímulos fiscales para la investigación tecnológica y facilidades para registros de patentes.

Por su parte, la Secretaría de Salubridad y Asistencia, en conjunto con las principales instituciones del Sector Salud, está elaborando cuadros básicos de material de curación, materiales y equipo de uso odontológico, equipo médico, equipo de laboratorio con las especificaciones generales de la función que van a desarrollar, con el objeto de que se propicie la búsqueda de soluciones tecnológicas diferentes a las que se han desarrollado en el extranjero y evitar que especificaciones poco flexibles obliguen a adquirir esos insumos del extranjero. Además, la Secretaría de Salubridad y Asistencia está fortaleciendo a sus dependencias a

las que corresponde llevar al cabo el control de la calidad, para asegurar que los insumos que recibe el Sector Salud, tanto los de procedencia nacional como extranjera, sean de la mejor calidad.

En conclusión, la ingeniería biomédica es una actividad fundamental en los planes del sector público. Se requiere fortalecerla; es necesario que los ingenieros biomédicos se vean involucrados en los servicios de salud, en actividades normativas, en la industria; se requiere que busquen desarrollar los equipos, los materiales, los procesos que sean adecuados a nuestra idiosincracia, a nuestra manera de pensar, para tener posibilidades de lograr en el futuro la autodeterminación tecnológica, con todas las ventajas que ello implica.

VI. LA PREPARACION DE INGENIEROS BIOMEDICOS

BONFIGLIO MUÑOZ-BOJALIL y
TEÓFILA CADENA-ALFARO

I. Características generales del mercado

En el año 1974 (Anuario Estadístico Compendiado, Direc. Gral. de Estadística), el número de unidades médicas era de 5 322, distribuidas de la manera que se muestra en el cuadro 2, notándose que al Instituto Mexicano del Seguro Social correspondía 18 por ciento de las unidades, mientras que la Secretaría de Salubridad y Asistencia tenía 39.5 por ciento del total. Sin embargo, del presupuesto federal para servicios de salud se destinaba 50 por ciento para el IMSS (NAFINSA, 1977), según se muestra en el cuadro 3.

Por lo que respecta a consumidores de equipo biomédico, entre 1972 y 1977 se distribuyeron como se muestra en el cuadro 4 (NAFINSA, 1978), observándose que cerca de 71 por ciento correspondía al IMSS.

En lo tocante a importación de equipo biomédico se estimó que el ritmo de crecimiento anual sería de 11 por ciento aproximadamente (NAFINSA, 1978), y se tendría entonces que la compra del equipo —en millones de dólares— crecería de la manera que se muestra en el cuadro 5. O sea que de 1973 a 1980 se tendría una compra total de más de 223 millones de dólares, que representan más de 5 000 millones de pesos mexicanos, a lo

Bonfiglio Muñoz-Bojalil. Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente. Secretaría de Salubridad y Asistencia. Teófila Cadena-Alfaro. Instituto Nacional de la Nutrición "Salvador Zubirán".

Cuadro 2. Distribución de unidades por dependencia.

	Número
D.D.F.	26
F.F.C.C.	90
I.M.S.S.	944
I.S.S.S.T.E.	937
PEMEX	218
SEDENA	182
MARINA	93
CLINICAS PRIVADAS	709
S.S.A.	2 102
OTRAS	21

Fuente: Dirección General de Estadística, 1974.

Cuadro 3. Distribución del presupuesto en 1974.

	Por ciento
I.M.S.S.	50
I.S.S.S.T.E.	15
OTROS	35

Fuente: Nafinsa, 1977.

Cuadro 4. Importación de equipo por dependencia (1972-1977).

	Por ciento
I.M.S.S.	70.7
I.S.S.S.T.E.	16.9
D.I.F.	2.4
OTRAS	10.0

Fuente: Nafinsa, 1978.

Cuadro 5. Compra de equipo médico, en millones de dólares.

1973	20.26
1974	17.75
1975	25.08
1976	27.73
1977	28.20
1978	31.30
1979	34.65
1980	38.42

Fuente: Nafinsa, 1978.

cual hay que agregar lo que se había adquirido con anterioridad a 1973 y lo que se ha seguido comprando después de 1980.

II. Planteamiento del problema

La adquisición de equipo biomédico trae aparejados varios problemas de importantes repercusiones. Uno de ellos es el de la dependencia tecnológica de México hacia países altamente tecnificados. Este problema de la dependencia tecnológica no tiene un solo factor que lo genere; es decir, es multifactorial. Por lo tanto, para encarar su solución deben adoptarse varias medidas o alternativas, de preferencia coordinadas todas ellas entre sí.

Sin embargo, las diferencias de criterios de los diversos sectores involucrados en la solución del problema han dificultado de modo considerable el logro de la tan ansiada meta de resolver la dependencia tecnológica, cuando menos en lo que se refiere a equipo biomédico.

Otro de los problemas importantes es el referente a la productividad del equipo médico. De manera resumida se puede decir que los equipos médicos ya existentes en el país han tenido un rendimiento insuficiente, puesto que si bien en ocasiones aparentemente se logra una eficacia adecuada, si se toma en cuenta el tiempo que transcurre entre solicitar el equipo y el ponerlo a funcionar, la productividad resulta ser muy baja. Por otro lado, es frecuente el hecho de localizar una gran cantidad de equipo en bodega o almacén, con lo cual su eficacia disminuye aún más.

Dicho de manera operacional, se ha requerido:

1. Que el equipo que está en función u operación tenga efectividad.
2. Que el equipo que está en almacén sea recuperado y puesto en función.
3. Que la adquisición de nuevo equipo siga un plan de trabajo previamente establecido y con estrategias bien claras.

III. Alternativa de solución planteada y resultados actuales

Una de las alternativas de solución ha consistido en formar recursos humanos, y si bien es cierto que ello requiere invertir tiempo, esfuerzo y dinero por parte del país, también es cierto que puede resultar una de las más afortunadas.

La respuesta esperada para disminuir algunos de los problemas que acarrear los equipos biomédicos se empezó a dar en tres lugares:

- a) Universidad Iberoamericana (UIA)
- b) Universidad Autónoma Metropolitana (UAM)
- c) Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CIEA).

La UIA inició los planteamientos de una licenciatura en ingeniería biomédica en el año 1973, como consecuencia de estar desarrollando proyectos en conjunto con el Instituto Nacional de la Nutrición (Primer Seminario sobre Investigación en Ingeniería Biomédica, 1978). Esta licenciatura está dentro del Departamento de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. La han planeado y desarrollado ingenieros en diversas ramas. Los objetivos han sido preparar profesionales con las siguientes características (Seminario sobre Investigación en Ingeniería Biomédica, 1978):

1. Competencia en los métodos básicos de ingeniería para su aplicación en análisis de sistemas o problemas y en síntesis, de procedimientos o soluciones.
2. Familiaridad con los conceptos biológicos y médicos, para poder establecer una comunicación eficaz con el personal médico, a fin de entender problemas y aportar soluciones.
3. Especialización en una área específica de la ingeniería biomédica, ya sea instrumentación electrónica, dispositivos mecánicos o modelación de sistemas.
4. Conocimiento del medio clínico, buscando un aprecio por los problemas del hombre, además de los problemas técnicos de su profesión.

En la actualidad, entre pasantes y graduados han egresado (a partir de 1977) un total de 30, que han podido localizarse en las actividades que se ilustran en el cuadro 6.

Cuadro 6. Actividades de egresados de la Universidad Iberoamericana

	Número	Porcentaje
Maestría en Ciencias en Ingeniería Clínica	3	10
	(en docencia)	
Maestría en Ciencias en Ingeniería Biomédica	3	10
	(1 en docencia, 1 en posgrado y 1 en la I.P.)	
Maestría en Ciencias (actualmente en doctorado)	3	10
Licenciatura		
Trabajando en el Sector Salud	7	23
Trabajando en la iniciativa privada (I.P.)	5	17
Se ignora	9	30

Fuente: Registro Escolar, U.I.A. 1981.

La Unidad de Iztapalapa de la UAM inició los planteamientos de la licenciatura en ingeniería biomédica en 1974, tomando como bases las siguientes (Primer Seminario sobre Investigación en Ingeniería Biomédica, 1978):

- a) Las características generales del mercado.
- b) Las necesidades de personal en ingeniería biomédica para 1978, que se estimaron alrededor de 2 000.

De esta manera, quedaba clara la necesidad de este tipo de profesionales y cierta seguridad de empleo. Esta licenciatura está dentro del Departamento de Ingeniería y la planeación y desarrollo han estado a cargo de ingenieros y de médicos fisiólogos, con la participación de varias unidades hospitalarias del Sector Salud.

Los objetivos han sido:

- a) Formar ingenieros que, conscientes de las necesidades tecnológicas de la medicina, coadyuven al desarrollo de una industria nacional, de tecnología propia, en el campo de los equipos médicos.
- b) Crear el vínculo necesario entre medicina y tecnología, indispensable para la investigación científica interdisciplinaria en el campo de la medicina.
- c) Capacitar a profesionales de alto nivel para la instalación, conservación y asesoría en equipos y sistemas dedicados al servicio de la medicina y ciencias afines.
- d) Capacitar al profesional para realizar estudios de maestría y doctorado.

A partir de 1978, han egresado en total 38 profesionales (entre pasantes y graduados), que se han podido localizar en las actividades mostradas en el cuadro 7.

Cuadro 7. Actividades de egresados de la U.A.M. (Unidad Iztapalapa).

Sector Salud	29(76%)
I.M.S.S. Administración	1
S.S.A. (Instrumentación biomédica, computación, administración)	15
	7
	7
D.I.F. (Instrumentación biomédica)	1
	6
I.S.S.S.T.E. (Instrumentación biomédica)	6
C.I.E.A. (Investigación)	1
Postgrado	4(10.5%)
Iniciativa privada	4(10.5%)
Se ignora	1(3%)

En el CIEA, probablemente en 1974, se inició el planteamiento de una maestría en Bioelectrónica, cuyo desarrollo ha estado al cargo de un médico dedicado a la investigación en ciencias fisiológicas. Las bases propuestas para esta maestría, consisten

en (Segundo Seminario sobre Investigación en Ingeniería Biomédica, 1979):

1. Que los alumnos que se aceptaran para esta maestría, deberían ser licenciados en alguna de las ramas en donde se empleara la ingeniería electrónica, la computación, la mecánica, etc.
2. Que se les diera una visión panorámica del lenguaje, de los problemas y de los intereses del biólogo, del médico y del investigador en las materias básicas de la medicina.
3. Como labor fundamental, que el estudiante considerara como norma incorporarse a las tareas de diseño, desarrollo y construcción que llevara al cabo el grupo de profesores.

Aproximadamente han egresado 30 profesionales ya graduados o en vías de graduarse, que se han podido localizar en diversas actividades (cuadro 8).

Cuadro 8. Actividades de egresados del C.I.E.A.

Enseñanza	21(70.0%)
C.I.E.A.	7
U.A.P.	7
I.P.N. (Medicina)	1
U.N.A.M.	2
E.S.I.M.E.	4
Sector Salud (IMSS)	2(6.6%)
Investigación (IMP)	2(6.6%)
Iniciativa privada	1(3.3%)
Se ignora	4(13.3%)

IV. Estado actual

En las dos universidades, la situación ha estado cambiando. Así, en la UIA, de 1973 a la fecha se ha cambiado en cuatro ocasiones a los coordinadores de la licenciatura y en términos muy generales, parece ser que la tendencia va hacia formar ingenieros biomédicos con un programa de estudios semejante al propuesto por la UAM en 1978. Lo cambiante en la coordinación de la UIA, ha impedido mostrar una ruta crítica y un criterio homogéneo para señalar caminos.

En lo tocante a la UAM, de un año a la fecha se ha cambiado no sólo al coordinador de la licenciatura sino también los enfoques e ideas originales, ya que de dos áreas que se ofrecían —instrumentación biomédica y matemáticas aplicadas a la medicina— desapareció la segunda y ahora se ofrecen tres:

- a) Ingeniería clínica, que se supone es el equivalente a instrumentación biomédica.
- b) Ingeniería médica electrónica, que se supo-

ne capacitará a los ingenieros para ser absorbidos por la industria nacional.

- c) Instrumentación médica mecánica, que originalmente se había planteado como biomecánica y prótesis y que se iniciaría en 1982.

En el CIEA el coordinador está desarrollando la producción en serie de equipo biomédico, con base en sus propios diseños.

V. Posibles marcos de referencia actuales

A. Fuera del país

1. Número de universidades norteamericanas que ofrecen ingeniería biomédica, grados y cantidad de alumnos (I.E.E.E. Trans. Biom. Eng. 22:1, 1975).

- a) Existen 121 universidades con programas de grado (licenciatura, maestría y doctorado) de 222 encuestadas; todas son escuelas de ingeniería.
- b) En 38 escuelas se ofrece doctorado, en 37 maestría en ciencias y en 46 sólo nivel licenciatura.
- c) En 1965 se habían graduado 2 889 profesionales, distribuidos así:
 - i) 574 licenciados
 - ii) 1 424 maestros
 - iii) 891 doctores
- d) En 1973 se tenía un total de 3 264 estudiantes (genérico).
- e) En 1975 había inscritos 3 769, distribuidos:
 - i) 1 530 en licenciatura
 - ii) 1 306 en maestría
 - iii) 933 en doctorado

2. Orientación de la educación en ingeniería biomédico (I.E.E.E. Trans. Biom. Eng. 22:89, 1975).

- a) Se señala que debe orientarse hacia las instituciones hospitalarias.
- b) Debe ser eminentemente práctica.
- c) Debe resolver los problemas tecnológicos que surjan en el uso de equipos y aparatos médicos.
- d) Uno de los grandes enfoques debe ser hacia la fisiología.
- e) Otro gran enfoque es hacia la comprensión y manejo del lenguaje médico.
- f) No se explica el papel que desempeña la industria, pero se propone que se formen ingenieros biomédicos "sobre pedido".
- g) No pudo llegarse a una definición unívoca de lo que es la ingeniería biomédica; sin embargo, se acepta que es una interacción entre la ingeniería y la medicina.

Por otro lado, el Instituto Nacional de las Cien-

ciencias Médicas Generales (National Institute of General Medical Sciences), tiene un programa de investigación en fisiología e ingeniería biomédica (I.E.E.E. Trans. Biom. Eng. 25:6, 1978), cuyo funcionamiento corresponde a tres áreas:

- a) Instrumentos y técnicas de medición
- b) Métodos, modelos y simuladores matemáticos
- c) Aplicaciones de a y b

Todos ellos se aplican a nivel:

1. Molecular
2. Celular
3. Tejido y órgano
4. Organismo completo

Por lo que respecta a la relación costo/beneficio, sólo se consiguió un ejemplo, el del Centro de Salud de la Universidad de Connecticut (J. Clin. Eng. 5:1, 1980), en el cual existen 25 instrumentos que representan una inversión de 860 000 dólares (casi 20 millones de pesos mexicanos), atendidos por cuatro miembros del Departamento de Ingeniería Biomédica del propio Centro, y que costaron 90 000 dólares anuales (algo así como dos millones de pesos mexicanos) obteniéndose altos porcentajes de rendimiento.

En agosto de 1979 (XII Congreso Mundial sobre Ingeniería Médica y Biológica de la Federación Internacional de Ingeniería Médica y Biológica), en Jerusalem se efectuó un simposio cuyo atractivo título era "Ingeniería biomédica, pasado, presente y futuro", en el cual se mencionaron muchos puntos a favor de tal especialidad pero no se llegó a una definición precisa de lo que es la ingeniería biomédica, aunque no dejaron de mencionarse los conceptos importantes de lo que debe ser, que como consenso universal es "la aplicación de conceptos, métodos y técnicas ingenieriles a la medicina y a la biología".

También, y ya para terminar el renglón internacional, se insiste en clasificar o dividir a la ingeniería biomédica en:

- a) Bioingeniería
- b) Ingeniería clínica
- c) Ingeniería biofísica
- d) Ingeniería médica

Lo que se pretende que sea cada una de ellas es muy variable y no existe uniformidad de criterios (I.E.E.E. Trans. Biom. Eng. 22:2, 1975).

B. En el país

Es muy posible que en México se den varias manifestaciones de actividad en la ingeniería biomédica, pero aquí se tomarán como referencia los dos seminarios sobre investigación en ingeniería biomédica. El primer seminario (1978) se efectuó en la ciudad de México, en el Instituto Nacional de la Nutrición y el segundo en la Universidad de las Américas, en Cholula, Puebla.

Parte de las conclusiones del primer seminario fueron:

- a) La ingeniería biomédica es una actividad interdisciplinaria, en la que se dan cita las herramientas, los puntos de vista y los conceptos ingenieriles de las situaciones y problemas del mundo físico con el de las ciencias biológicas y la medicina.
- b) Se reconoció que este tipo de profesionales es necesario en nuestro país.
- c) En general, el público desconoce las habilidades y conocimientos de este profesional y no lo ubica con precisión en los cuadros profesionales tradicionales.
- d) Los principales campos de acción fueron:

1. Centros de enseñanza
2. Centros de investigación
3. Instituciones de salud (desde los hospitales hasta las labores de campo)
4. En la industria
5. En instituciones oficiales en actividades normativas

- e) Las funciones del ingeniero biomédico dentro del equipo de salud son:

1. Investigación ecológica
2. Investigación demográfica
3. Investigación de los sistemas de salud
4. Asesoría técnica
5. Labor de intermediación para mejorar la relación usuario-equipo
6. Instrucción del equipo de salud para la correcta utilización del equipo
7. Control de calidad de los equipos
8. Mantenimiento de los equipos, en especial el preventivo

- f) Es importante que se reconozca que el equipo de salud debe ser ayudado, orientado y capacitado por el ingeniero biomédico.

Así, el marco de referencia teórico se empezaba a presentar y mostraba los caminos a seguir para la adecuada preparación de la alternativa de solución. En el cuadro 9 se muestran los conferenciantes y procedencias, tanto del primero como del segundo seminarios, para tener una idea más precisa del universo que asistió a señalar rutas y estrategias para resolver problemas reales.

Algunos de los expositores y participantes al segundo seminario manifestaron:

- a) Que en la bodega de la Magdalena de las Salinas del IMSS había guardado equipo con valor cercano a los 50 millones de pesos mexicanos.
- b) Que en el Centro Médico Nacional se contaba con refacciones y componentes con valor cercano a los 20 millones de pesos, cuyo movimiento anual era cercano a 12 por ciento.

Cuadro 9. Seminarios sobre Investigación en Ingeniería Biomédica. Ponentes por institución, número, porcentaje.

Seminario	I		II	
	Número	Por ciento	Número	Por ciento
Total de ponentes	22		42	
UNAM	7	32.0	—	—
UAM-I	4	18.0	9	21.0
IPN	3	14.0	3	7.0
CONACyT	3	14.0	1	2.4
UIA	2	9.0	1	2.4
CIE	1	4.3	1	2.4
NAFINSA	1	4.3	1	2.4
SEPAFIN	1	4.3	2	5.0
DIF	—	—	3	7.0
ISSSTE	—	—	7	17.0
IMSS	—	—	6	14.0
I.P.	—	—	2	5.0
SSA	—	—	5	12.0
H.E.	—	—	1	2.4

- c) Que en la SSA se tiene un retraso en la entrega de equipo hasta de tres años.
- d) Que se requiere un cuadro básico de los instrumentos, generado por necesidades de las instituciones y que la selección del equipo fuera lo más objetiva posible.
- e) Que es necesario contar con una evaluación técnica del activo fijo en las unidades hospitalarias, para conocer la magnitud real del problema del equipo.
- f) Que la mayor parte de los desperfectos de los equipos se debían a la deficiente instalación eléctrica y se debería contar con un programa, bien planeado, de seguridad eléctrica en los hospitales.
- g) Que la actividad en la industria de los equipos médicos apenas se iniciaba, y era necesario crear infraestructura tecnológica adecuada en las ingenierías tradicionales relacionadas con el campo, para después reforzar la industria de los equipos médicos del país.
- h) Que la actividad del ingeniero biomédico dentro del ámbito hospitalario complementaba las acciones de las ingenierías de mantenimiento y de conservación, pero que no eran competitivas entre sí.

VI. Comentarios finales

Poco es lo que podría agregarse a lo expuesto, ya que el problema aún está lejos de resolverse de manera satisfactoria. Sería muy deseable que las actividades encaminadas a la solución, tuvieran el refuerzo adecuado, tanto de la parte que forma los recursos humanos, como de la que está urgida

de contar con los servicios de este nuevo tipo de profesionales.

Quizá —de manera utópica— podría plantearse que lo que se necesita, una vez más, es realizar trabajo en equipo y mirando hacia el mismo objetivo, lo cual sería una manifestación de amor, ya que de acuerdo con Antoine de Saint Exupery "amor no es contemplarse mutuamente, sino mirar en la misma dirección". Y entonces seremos capaces de amar a nuestros semejantes.

VII. RESUMEN Y CONCLUSIONES

CARLOS ALCOGER-CUARÓN

La ingeniería biomédica es una rama interdisciplinaria de muy reciente aparición en nuestro país. Ello se patentiza en la escasez de estos profesionales (sólo unas cuantas decenas de egresados de las universidades Iberoamericana y Autónoma Metropolitana y del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados); por la otra, y contrastando en forma por demás acentuada, una gigantesca inver-

sión en equipo biomédico, en los últimos años, que supera a los cinco mil millones de pesos.

Se está de acuerdo en que esta rama interdisciplinaria del conocimiento es "una actividad fundamental en los planes del sector público... Se requiere fortalecerla, así como lograr que los ingenieros biomédicos intervengan en "los servicios de salud, en actividades normativas, en la industria...", a fin de que se logren procesos "adecuados a nuestra idiosincrasia".

Habría que recomendar que toda institución médica contara con una unidad de ingeniería especializada; que tal unidad estuviese al cargo de un ingeniero biomédico y que contara con el personal, las instalaciones y los equipos necesarios para cumplir con las funciones señaladas en este simposio.

Asesoría para la adquisición de los equipos biomédicos

Uno de los problemas más graves que confrontan las instituciones biomédicas y de la salud consiste en la selección adecuada del equipo que conviene adquirir. Pero ni las compañías comerciales que lo venden tienen el interés en adecuarlo a las necesidades institucionales, ni los médicos la preparación o la información necesarias para juzgar acerca de la calidad de los diferentes productos que se les ofrecen. El ingeniero biomédico (IB) deberá estar en condiciones de realizar los estudios necesarios para comparar las características de los equipos y dictaminar sobre la conveniencia de una determinada compra.

Asesoría para la instalación y para la utilización del equipo

Por la razón antes mencionada, será función del IB realizar los estudios necesarios para aprovechar las mejores condiciones del medio local para que el rendimiento de un determinado aparato sea óptimo. Debe admitirse que el personal médico y paramédico de las instituciones de salud tampoco está suficientemente preparado para dominar el uso del equipo y obtener su rendimiento óptimo. El IB deberá entonces proporcionar el adiestramiento necesario para este fin.

Conservación del equipo

Otro de los grandes problemas en el uso de equipo biomédico consiste en la dificultad para mantenerlo funcionando adecuadamente y sobre todo, para lograr una eficaz conservación preventiva. Algunas compañías comerciales eluden su responsabilidad para proporcionar este tipo de servicio; incluso no proporcionan siquiera los diagramas de construcción indispensables para conseguir una buena labor de mantenimiento y de reparación. Otra función crucial del IB en cualquier institución de salud debe ser la de mantener el equipo

en operación y la de tomar las medidas preventivas que eviten su daño.

Planeación de actividades académicas y de servicio

La tecnología a disposición del médico se encuentra en proceso de continua transformación y algunos de los adelantos más importantes están ocurriendo en el área de la ingeniería. Una función deseable del IB consistiría en poder llamar la atención del personal médico sobre los avances que revistan utilidad potencial, así como participar en la elaboración de los planes de desarrollo de nuevas tecnologías.

Es de recomendar, en conclusión, que el IB sea considerado como un miembro del equipo de salud, con igual jerarquía que la del personal médico. Sólo así podría lograrse una colaboración fructífera de este profesional. La unidad de servicios de IB debe estar al mismo nivel de cualquiera de los otros servicios de la institución, y su personal gozar de iguales prerrogativas que sus colegas del área médica. Por desgracia, no es ese el caso en la mayoría de las instituciones, donde ni siquiera se cuenta con las plazas adecuadas para los IB y ni qué decir de las estructuras administrativas para la creación de unidades de servicio de IB o para el reclutamiento del personal de apoyo.

Se señalaron en este simposio varias limitaciones y problemas que obstaculizan el desarrollo de una tecnología nacional que permitiera realizar nuestros equipos, en la medida de las necesidades, con las características específicas y de acuerdo con nuestras posibilidades económicas.

Carencia de piezas electrónicas de calidad

Dado que ya se construyen en el país buen número de componentes electrónicos, resulta muy difícil su importación. Desgraciadamente no existe control de calidad ni la variedad de productos es la deseable. La consecuencia es que carecemos de los componentes de alta calidad necesarios para construir equipo biomédico de precisión.

Ambos problemas deben ser resueltos, creando estímulos para la creación y respeto de normas de calidad, y a la vez dando facilidades para la importación de los productos necesarios.

Carencia de la tecnología necesaria para la construcción de equipo

Aun en el caso de que se contara con el conjunto de componentes necesario para la construcción de equipo biomédico, se tropieza con el problema de la falta de la infraestructura tecnológica necesaria para el ensamble, el acabado y las pruebas de calidad indispensables. En una de las ponencias del simposio se analiza la posibilidad de que existan uno o varios centros en los que sea posible obtener tales servicios para proyectos de desarrollo en las distintas instituciones nacionales.

Falta del personal técnico de apoyo

Suele existir un abismo entre el diseño de una pieza de equipo y su construcción final. Buena parte de los retrasos y aun de los fracasos en la construcción del equipo en nuestro país se deben a la escasez de mano de obra calificada en la construcción.

Todo proyecto de apoyo a la ingeniería biomédica deberá comprender, de manera prioritaria, la preparación del personal subprofesional de apoyo.

Falta de información sobre la disponibilidad nacional de equipo y materiales de construcción

No se cuenta con el banco de datos ni con los catálogos necesarios para facilitar esta búsqueda. En ocasiones, esto da lugar a que se decida a importar innecesariamente componentes o equipos existentes en el mercado nacional.

Al decidir sobre la conveniencia de adquirir o construir alguna pieza de equipo, debería tomarse en cuenta la posible disponibilidad de ese tipo de aparatos en el mercado.

Dada la importancia que, según se ha visto, reviste la ingeniería biomédica, es pertinente señalar algunos criterios fundamentales que habrán de ser observados al hacer el diseño curricular de la carrera de IB. Deberá tomarse como base el *currículum* de una carrera de ingeniería, a fin de alcanzar con ello la competencia, los conocimientos y las habilidades necesarias para llevar al cabo el análisis de sistemas, así como la resolución de los problemas ingenieriles. Es indispensable, además, incluir cursos sobre ciencias biológicas, específicamente morfología, fisiología, bioquímica y farmacología. Este aspecto de la enseñanza deberá permitir que se logre la familiaridad del ingeniero con los conceptos biomédicos, para así establecer la comunicación eficaz entre el propio IB y el personal médico y paramédico, para estudiar y comprender los problemas planteados y llegar a las soluciones requeridas.

Además, deberán incorporarse trabajos prácticos que permiten que el estudiante se familiarice con el tipo de instrumentos empleados en el diagnóstico y en la terapia, en cirugía y en rehabilitación. Cada instrumento analizado deberá dar lugar a un protocolo de mantenimiento y a una guía de posibles desarreglos. Se buscará, igualmente, una interacción entre las funciones y la instrumentación que permita hacer el análisis de las mismas; conocer la importancia de la calibración; saber de la existencia de los procedimientos no invasivos, y aspectos similares.

Las especializaciones

De manera optativa, el estudiante deberá elegir alguna o algunas especialidades, tales como:

Análisis de sistemas

Microanálisis y automatización de análisis clínicos

Sistemas de monitonización y control remoto
Quirófanos y unidades de cuidados intensivos
Prótesis y órganos artificiales
Sistemas de control y modelos teóricos

El internado hospitalario

Con esto se busca propiciar la comunicación, tanto con el personal médico como con el paciente, al través del conocimiento de las tradiciones médicas y de la sensibilización acerca de la dignidad y de la vulnerabilidad del paciente.

Se ha señalado aquí, que "las perspectivas de la ingeniería biomédica dependen de la aceptación por parte del médico, de que otros profesionales comparten su inquietud por el bienestar del ser humano". Por fortuna, la Academia Nacional de Medicina está dando prueba de que comparte este criterio, al reconocer el surgimiento de esta nueva especialidad en el área de las ciencias de la salud y ofrecer su tribuna para el debate y la difusión acerca de esta importantísima actividad profesional. Es de esperar que además se interese por crear un grupo de estudio que analice y proponga criterios y pautas para dar apoyo y orientación en el desarrollo y en la vinculación de la ingeniería biomédica a nuestro ambiente médico.

También se afirmó que las perspectivas de la ingeniería biomédica dependían igualmente del "apoyo que el Sector Salud pueda brindar en materia de prioridades y unicidad de criterios en lo que a tecnología aplicada a la medicina se refiere".

Nuevamente, por fortuna, la respuesta está a la vista, como se desprende de la información acerca de lo que el CONACyT está llevando al cabo, en cuanto a los programas de desarrollo de esta profesión por medio de las becas que otorga para la formación de recursos humanos y de la creación de un centro de desarrollo tecnológico en el área de la salud. Se ha informado además de la existencia de un Programa de Riesgo Compartido, en el que el CONACyT aporta la mitad de los gastos para proyectos de innovación, adaptación o desarrollo tecnológico de procesos o de nuevos productos. Ofrece, por último, estímulos fiscales para la investigación en el campo de la tecnología, así como facilidades para el registro de patentes.

La Secretaría de Salubridad y Asistencia, por su parte, propicia "la búsqueda de soluciones tecnológicas diferentes a las que se han desarrollado en el extranjero" . . . para así, "evitar que especificaciones poco flexibles obliguen a adquirir esos insumos del extranjero". La SSA está pendiente de llevar al cabo el control de calidad que asegure las mejores características en la calidad de los productos que consume, tanto los de procedencia nacional, como extranjera.

Hago votos porque este simposio haya servido para otorgar a la ingeniería biomédica su carta de naturalización en el ambiente académico médico y para despertar el interés por este quehacer entre los profesionales de la salud.